

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 79 05089**

(54) Procédé et dispositif pour la mesure simultanée de vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules submicroniques dans un fluide.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 2). G 01 P 11/02; G 01 N 15/02.

(22) Date de dépôt..... 27 février 1979, à 16 h 20 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 45 du 7-11-1980.

(71) Déposant : AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE (ANVAR), établis-  
sement public, résidant en France.

(72) Invention de : Gérard Gouesbet.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Harlé et Léchopiez,  
21, rue de La Rochefoucauld, 75009 Paris.

L'invention concerne un procédé et un dispositif permettant de mesurer simultanément les vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules submicroniques dans un fluide. On désigne par "submicronique", dans la présente description, des particules ayant des dimensions de l'ordre du micron ou inférieures au micron.

L'invention concerne également l'application de ce dispositif et de ce procédé à des domaines très variés, tels que l'environnement (cheminées d'usine), les constructions mécaniques (fours à rayonnement, moteurs à combustion et autres) et la médecine. En introduisant dans un milieu des particules de taille connue, l'invention permet inversement de mesurer la température dudit milieu.

On connaît déjà des dispositifs permettant de mesurer individuellement des vitesses, fluctuations de vitesses ou diamètres de particules submicroniques. Cependant, aucun dispositif actuellement connu ne permet de déterminer simultanément les trois paramètres précités pour un fluide considéré.

A titre de document illustrant l'utilisation de techniques laser pour des mesures de diverses propriétés dynamiques de fluides, on peut citer l'article de John C. ANGUS et al "Motion Measurement by Laser Doppler Techniques", dans Industrial and Engineering Chemistry Vol. 61 n°2 Fév. 1969 p. 8 et suivantes.

Le montage proposé est prévu pour la détection d'un spectre donné, mais sa conception le rend inapte à l'enregistrement simultané d'un spectre homodyne et d'un spectre hétérodyne.

Pour arriver à une détermination expérimentale des trois quantités recherchées (vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules), il faut actuellement disposer de deux dispositifs: le premier permettant de mesurer les vitesses et fluctuations de vitesses du fluide, et le second permettant de déterminer les diamètres des particules contenues dans ledit fluide. Le fait, selon la technique antérieure, d'être obligé de disposer de deux montages, conduit à des inconvénients. D'une part, cela oblige à faire deux mesures à des intervalles de temps importants; on détermine en effet une vitesse et une fluctuation de vitesse à un temps  $t$  et un diamètre de particules à

un temps  $t_1$ . Mais, entre les deux mesures, les conditions expérimentales peuvent avoir varié et l'on n'est jamais certain qu'à la vitesse mesurée correspond le diamètre déterminé consécutivement. D'autre part, le fait d'effectuer deux mesures  
5 nécessite une durée d'analyse beaucoup trop longue pouvant aller jusqu'à une journée. L'invention permet de pallier les inconvénients sus-mentionnés. En effet, elle autorise la mesure simultanée des vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules du fluide considéré. Par conséquent, on  
10 peut déterminer au même temps  $t$  les trois quantités recherchées.

En outre, l'invention permet de réduire la durée de manipulation; on peut en effet réaliser un spectre en l'espace de quelques minutes, ledit spectre étant ensuite exploité pour en arriver à la mesure proprement dite des trois facteurs recher-  
15 chés.

L'invention concerne un procédé pour la mesure simultanée de vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules submicroniques dans un fluide, procédé dans lequel on produit deux faisceaux parallèles de lumière cohérente à partir  
20 d'un même faisceau laser, on focalise lesdits faisceaux dans la zone du fluide à mesurer, et on analyse spectralement la lumière sortant de ladite zone, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on enregistre d'abord par balayage de fréquence un spectre homodyne à partir de la lumière diffusée d'un seul desdits  
25 faisceaux parallèles sous un grand angle solide, on définit une fréquence  $f_c$ , dite fréquence critique, supérieure à la fréquence la plus élevée du spectre homodyne enregistré, on utilise ladite fréquence  $f_c$  comme paramètre de commande pour agir sur l'émission de lumière cohérente et pour laisser passer les deux fais-  
30 ceaux parallèles, la lumière diffusée étant alors collectée dans un petit angle solide, on continue le balayage en fréquence pour enregistrer le spectre hétérodyne à partir de la lumière d'un faisceau et de la lumière diffusée de l'autre faisceau et on traite les données des deux spectres pour déterminer simultanément  
35 les valeurs des vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules dans la zone considérée.

L'invention est basée sur les caractéristiques ci-après: On focalise dans la zone de l'espace où se trouve le fluide à analyser deux faisceaux provenant d'une même source laser.

L'analyseur spectral effectue une intégration du signal par bandes passantes (balayage de fréquence) en des temps supérieurs de plusieurs ordres de grandeurs à 0,1 ms. Selon une caractéristique essentielle de l'invention, l'analyseur travaille d'abord sur un seul faisceau puis, à partir de la fréquence critique, sur les deux faisceaux.

Le spectre total enregistré contient toutes les informations requises: le spectre homodyne permet de déterminer le diamètre des particules et le spectre hétérodyne permet de déterminer les vitesses et fluctuations de vitesses des particules dans le fluide.

Dans ce qui suit, on pourra se reporter à la figure 1 qui illustre le procédé de l'invention.

Pour enregistrer le spectre homodyne, on ne laisse passer qu'un faisceau laser. La lumière diffusée à partir de ce faisceau est recueillie par un photomultiplicateur sous un angle solide large.

La lumière diffusée est spectralement élargie d'une quantité ( $\delta f_L$ ), par effet Doppler, causé par le mouvement aléatoire brownien d'un grand nombre de particules présentes à chaque instant dans le domaine de résolution. A la figure 1, on a indiqué la valeur  $\delta f_L$  correspondant à la mi-hauteur du spectre.

Le profil diffusé est lorentzien. Plus le diamètre des particules diminue, plus la vitesse d'agitation brownienne augmente, plus l'effet Doppler augmente et donc  $\delta f_L$ . Ainsi,  $\delta f_L$  est une mesure de  $d$ , diamètre de particules, considérées monodispersées.

La mesure est effectuée en étudiant sur le photomultiplicateur le battement du faisceau diffusé avec lui-même. Le spectre du signal issu du photomultiplicateur s'écrit alors:

$$S = \frac{2 \alpha D}{(\omega)^2 + W^2}$$

où  $\alpha$  dépend des caractéristiques du montage optique

W est la fréquence angulaire sur l'analyseur spectral et

D est le coefficient de diffusion brownien des particules donné par

$$D = \frac{k T}{3 \pi \mu d}$$

où  $k$  est la constante de Boltzmann

$T$  température absolue

$\mu$  viscosité du fluide

$d$  diamètre des particules

- 5 L'enregistrement du spectre homodyne  $S$  permet donc la mesure de  $D$  et de  $\underline{d}$ , si la température  $T$  est connue par ailleurs.

- 10 Le spectre hétérodyne (utilisant une fréquence de référence, celle du premier faisceau laser) est enregistré dans des conditions telles que le premier faisceau laser et la lumière diffusée à partir du deuxième faisceau arrivent sur le photomultiplicateur sous un faible angle solide. Le spectre hétérodyne permet la mesure de la vitesse et de la fluctuation de vitesse des particules.

- 15 La lumière diffusée est décalée par rapport à la fréquence de référence d'une fréquence  $f_{D,\tilde{B}}$  dite fréquence Doppler, en raison du mouvement d'ensemble des particules en  $M$ , identique au mouvement d'ensemble du fluide pour des particules submicroniques.

- 20 Le décalage Doppler est donné par
- $$f_{D,\tilde{B}} = \frac{2 f u_z \sin(\theta/2)}{c}$$

où  $f$  est la fréquence laser,

- 25  $u_z$  est la composante de la vitesse du fluide dans la direction perpendiculaire au plan des franges formées par les faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$ ,

$c$  est la vitesse de la lumière dans le vide, et

$\theta$  est l'angle entre le premier et le second faisceau laser.

- 30 Le spectre hétérodyne donnant  $f_{D,\tilde{B}}$ , on peut donc calculer la valeur  $u_z$  qui mesure la vitesse d'ensemble des particules.

Selon une caractéristique complémentaire de l'invention, il est souvent souhaitable de ramener la fréquence Doppler  $f_{D,\tilde{B}}$  sur l'échelle de l'analyseur spectral.

- 35 Etant donné que, lors de l'enregistrement du spectre, l'intégration se fait sur plusieurs fois 0,1 ms, le spectre contient également un élargissement dû au mouvement aléatoire des particules par la turbulence. Si la turbulence est gaussienne, il en résulte un élargissement gaussien caractérisé par une

largeur à mi-hauteur  $\delta f_D$ . Le spectre donne  $\delta f_D$  qui est une mesure de la fluctuation de vitesse des particules.

Selon une autre caractéristique de l'invention, on prévoit des moyens complémentaires pour réduire l'élargissement  $\delta f_D$ . A cet effet, on peut par exemple prévoir une modification du montage optique au passage de la fréquence critique  $f_c$  et/ou changer la lentille  $L_1$  après l'enregistrement du spectre homodyne, comme cela sera illustré dans l'exemple ci-après.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé décrit précédemment comprenant une source laser, un séparateur de faisceau dédoublant le faisceau laser en un premier et second faisceau parallèles entre eux, un filtre neutre, un système permettant de focaliser les deux faisceaux précités dans la zone où se trouve le fluide à analyser, un photomultiplicateur connecté à un analyseur spectral, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens amovibles de coupure ( $D_1$ ) d'un des faisceaux parallèles ( $FL_1$ ), un diaphragme ( $D_2$ ) d'ouverture réglable associé à une lentille convergente ( $L_2$ ) placé sur le trajet de ce faisceau ( $FL_1$ ) après sa focalisation, et des moyens coopérant avec l'analyseur spectral pour commander à une fréquence critique  $f_c$  la mise hors d'action des moyens de coupure ( $D_1$ ) et la réduction de l'ouverture du diaphragme ( $D_2$ ), le montage optique étant tel que le photomultiplicateur est disposé à poste fixe dans le prolongement du faisceau ( $FL_1$ ), toutes les opérations de mesure étant ainsi réalisées sans changer la position du photomultiplicateur.

La source laser utilisée peut être à argon ionisé (fournissant par exemple sensiblement 1W de puissance sur la raie 514,5 nm), en particulier un laser travaillant dans le mode TEM<sub>00</sub>, sans que ces indications aient un quelconque caractère limitatif.

Afin de réduire au minimum les effets de battements entre les modes longitudinaux du laser, il est préférable de compenser dans le séparateur les trajets optiques des premier et second faisceaux laser.

Le type de séparateur de faisceaux n'est pas critique; il est de type connu tel qu'utilisé dans de nombreux montages

optiques équivalents.

Les moyens de coupure disposés sur le premier faisceau laser sont constitués par un cache, écran opaque ou similaire.

L'angle entre les premier et second faisceaux laser à la sortie de la lentille de focalisation est compris entre 0 et 90°. L'angle choisi est fonction du fluide considéré, c'est-à-dire de la vitesse, des fluctuations de vitesses et du diamètre des particules. On peut modifier cet angle  $\theta$  en changeant le montage optique, à savoir la lentille de focalisation.

La lumière laser incidente est diffusée par ces particules submicroniques présentes, en suspension, dans le fluide se trouvant ou se déplaçant dans la zone considérée.

La lentille  $L_2$  a pour fonction de conjuguer le domaine M et le photomultiplicateur.

Le passage à la fréquence  $f_c$  produit une impulsion (générée à partir du balayage en fréquence de l'analyseur spectral) qui provoque le basculement du montage homodyne au montage hétérodyne, à savoir:

- l'enlèvement du cache  $D_1$  pour libérer le faisceau  $FL_1$
- et la réduction de l'ouverture du diaphragme  $D_2$  pour limiter en montage hétérodyne l'angle solide de collection de la lumière diffusée.

De nombreux moyens à la portée de l'homme de l'art peuvent être utilisés pour remplir ces deux fonctions: enlèvement du cache  $D_1$  et réduction de l'ouverture du diaphragme  $D_2$ . A titre d'exemple, le cache  $D_1$  peut être constitué par un diaphragme à rideau, du genre disponible dans le commerce, le déplacement du rideau étant commandé par voie électronique au passage de la fréquence  $f_c$ . Le diaphragme  $D_2$  peut être un diaphragme à iris, du type des diaphragmes photographiques, capable d'être fermé par commande électronique à partir de l'impulsion correspondant à la fréquence  $f_c$ . Il va sans dire que ces exemples sont purement illustratifs.

De préférence, le dispositif selon l'invention comprend également des moyens pour ramener la fréquence Doppler  $f_{D,B}$  sur l'échelle de l'analyseur spectral. Ces moyens sont avantageusement constitués par une cellule de Bragg disposée sur le trajet du premier faisceau laser avant la lentille de focalisa-

tion. La fonction d'une telle cellule est en effet de modifier la fréquence.

Complémentairement, le dispositif peut également comprendre des moyens pour réduire l'élargissement  $\delta f_D$ , en particulier des  
5 moyens faisant varier l'angle  $\theta$  entre les faisceaux focalisés.

Le dispositif selon l'invention permet de réaliser un spectre homodyne et hétérodyne en un laps de temps très court, de l'ordre de 2 à 3 minutes.

Après affichage des deux spectres sur l'analyseur spectral,  
10 on photographie par exemple lesdits spectres et on les traite, connaissant  $f_{D,B}$ ,  $\delta f_D$  et  $\delta f_L$ , pour déterminer respectivement la vitesse moyenne de l'ensemble de fluide, la fluctuation de vitesse d'ensemble et le diamètre des particules en suspension dans ledit fluide, compte tenu des relations mentionnées ci-dessus. Bien en-  
15 tendu, le traitement de l'information contenue dans les spectres peut se faire autrement que par voie photographique. Ainsi, l'information pourrait être transmise à un ordinateur relié à l'analyseur spectral.

L'invention concerne finalement l'application du dispositif  
20 selon l'invention pour la détermination des trois quantités précédemment indiquées, mesure pouvant être effectuée in situ dans des fours, dans des flammes, dans des moteurs à combustion, à la sortie de cheminées d'usine, et dans toutes sortes d'usages.

En effet, on sait par exemple que le transfert de chaleur  
25 par rayonnement dans un four est très dépendant de la présence de suies. On peut donc régler le four de manière à avoir une émission optimale desdites suies.

Par contre, dans un moteur à combustion, l'émission de suie doit être minimale. On règle donc le moteur de manière à minimaliser  
30 l'émission de suie. Le dispositif selon l'invention permet de déterminer à chaque instant la composition du fluide se déplaçant dans un four ou dans un moteur à combustion. Il suffit alors de régler ceux-ci pour obtenir l'émission de suie désirée.

Ce dispositif trouve également une application pour l'en-  
35 vironnement et il permet, sur les cheminées d'usine, de déterminer l'émission de suie et autres particules et de prévoir en conséquence le dépoussiéreur adéquat. L'exemple ci-dessous permet de bien mettre en évidence l'intérêt du dispositif selon l'invention pour l'étude d'une flamme de combustion turbu-



lente.

L'invention peut également trouver une application en médecine, car on a tendance à l'heure actuelle à considérer que le phénomène induisant les cancers pourrait être d'origine submicronique.

5 Dans une application particulière, l'invention peut également être utilisée en calorimétrie. Dans ce cas, la mesure est inverse: en effet, on introduit dans le milieu dont on veut déterminer la température des particules de taille connue, 10 l'enregistrement du spectre permettant alors de mesurer la température T.

La suite de la description va être faite à titre illustratif et nullement limitatif en référence aux dessins sur lesquels:

15 Fig.1, déjà mentionnée ci-dessus, représente le spectre obtenu sur l'analyseur spectral;

Fig.2 est un schéma du dispositif selon l'invention;

Fig.3 représente les spectres obtenus dans un exemple d'application à des mesures sur une flamme.

20 En se référant aux figures 1 et 2, on voit que l'invention fait usage, ainsi qu'il est connu, d'une source laser S émettant un faisceau FL tombant sur un séparateur de faisceau SF, lequel dédouble le faisceau incident en deux faisceaux sensiblement parallèles  $FL_1$  et  $FL_2$ . On place sur le trajet 25 optique de  $FL_1$  un filtre neutre FN et un cache amovible  $D_1$  avant la lentille de focalisation  $L_1$ . Les deux faisceaux  $FL_1$  (cache  $D_1$  enlevé) et  $FL_2$  convergent dans un domaine spatial M, après traversée de la lentille  $L_2$  pour former un champ d'interférences. On utilise une lentille  $L_1$  de distance focale 30 telle que les faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$  convergent exactement dans le domaine M où se déplace le fluide (F) à analyser. Les caractéristiques du domaine spatial M dépendent de la lumière incidente laser (longueur d'onde, diamètre des faisceaux) et de l'angle  $\theta$  formé entre les faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$  à la sortie de 35 la lentille de focalisation  $L_1$ . Le domaine M a par exemple une longueur d'environ  $300\mu$  et une largeur d'environ  $50\mu$ . Dans la zone M, on désigne par  $u_z$  la vitesse d'ensemble des particules dans la direction perpendiculaire au plan des franges formées en M par les faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$ . La lumière incidente

laser est diffusée par les particules submicroniques présentes dans ce domaine M, en suspension dans le fluide (F). On suppose que le nombre de particules présentes en M est suffisamment grand (c'est par exemple le cas de particules de suie dans une flamme). On dispose ensuite sur le trajet optique de  $FL_1$ , après passage dans l'espace M, un diaphragme  $D_2$  d'ouverture réglable et une lentille  $L_2$  devant le photomultiplicateur PM. Sur le photomultiplicateur PM arrivent donc le faisceau  $FL_1$  (cache  $D_1$  enlevé) et la lumière diffusée, par les particules présentes en M, à partir du faisceau  $FL_2$ . Le photomultiplicateur est relié à un analyseur spectral AS sur lequel on effectue l'enregistrement. Selon une caractéristique essentielle de l'invention, on prévoit des moyens  $M_1$  commandés par l'analyseur spectral AS, et agissant sur le diaphragme  $D_2$  et sur le cache  $D_1$ . La fonction de ces moyens  $M_1$  et le mode opératoire sont exposés ci-dessous en référence aux figures 1 et 2.

On effectue un balayage en fréquence pour enregistrer d'abord le spectre homodyne. Dans ce cas, le cache  $D_1$  est en place, c'est-à-dire que le faisceau  $FL_1$  ne passe pas. Le photomultiplicateur PM reçoit donc seulement la lumière diffusée du faisceau  $FL_2$ . Etant donné que le flux diffusé est faible, on travaille sous un grand angle solide, c'est-à-dire qu'on ouvre totalement le diaphragme  $D_2$ . Après enregistrement du spectre homodyne, on arrive à la fréquence critique  $f_c$  déterminée par exemple par des expériences préliminaires. L'analyseur spectral émet alors une impulsion pour commander les moyens  $M_1$ . Ces moyens déplacent le cache  $D_1$  et réduisent l'ouverture du diaphragme  $D_2$ . Dans ce cas, les faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$  passent et le PM reçoit le faisceau  $FL_1$  et le faisceau diffusé par les particules contenues dans l'espace M à partir du faisceau  $FL_2$ . On travaille par conséquent sous faible angle solide, c'est-à-dire que le diaphragme  $D_2$  ne laisse passer qu'un faisceau très étroit. On poursuit le balayage en fréquence et on enregistre le spectre hétérodyne.

La figure 1 représente le spectre final obtenu sur l'analyseur spectral. Ce spectre fournit  $\delta f_L$ , ce qui permet de calculer le diamètre des particules, et  $f_{D,B}$  et  $\delta f_D$ , ce qui permet de déterminer les vitesses et fluctuations de

vitesses d'ensemble des particules. On obtient  $\delta f_D \simeq \delta f_L$  en jouant sur la géométrie du montage optique de focalisation et sur son orientation par rapport à la vitesse moyenne. On peut obtenir  $f_{D,B} \simeq \delta f_L$ , en disposant en plus une cellule de Bragg (non représentée) sur le premier faisceau laser, ce qui

5 décale la fréquence du faisceau  $FL_1$  d'une quantité  $f_B$ , de sorte que la fréquence de battement devient  $f_D = |f_B - f_{D,B}|$  où  $f_{D,B}$  est la fréquence Doppler en l'absence de cellule de Bragg.

10 La suite de la description est faite en référence à un exemple d'application du dispositif selon l'invention dans laquelle on étudie la composition en suie d'une flamme turbulente.

#### EXEMPLE

15 Dans cet exemple, on effectue des mesures sur une flamme (F), telle qu'elle peut être émise par un brûleur (flamme turbulente), en utilisant un dispositif schématiquement représenté à la figure 2. La flamme (F) contient des particules de suie et présente les caractéristiques suivantes:

20 Température absolue  $T = 1500^\circ K$   
 Viscosité dynamique  $\mu = 0,05.10^{-3} \text{ kg/m.s}$   
 Vitesse moyenne  $\bar{u} = 50 \text{ cm/s}$   
 Fluctuations de vitesse  $\frac{\delta u}{\bar{u}} = 8\%$  ( $\delta u$ : écart quadratique de la densité de probabilité des vitesses, supposée gaussienne).

25

Diamètre des particules de suie  $d = 200 \text{ \AA}$ .

Le montage optique est caractérisé par l'angle  $\theta$  (voir figure 2) et l'angle  $\varphi$  entre la direction de la vitesse moyenne  $\vec{u}$  et le plan des deux faisceaux  $FL_1$  et  $FL_2$ . On a donc

30  $\varphi = (\vec{u}, \vec{u}_z)$ . Soit  $f_L$  la longueur focale de la lentille  $L_1$  et  $d_L$  la séparation entre les faisceaux.

#### 1°) Spectre homodyne.

Ainsi qu'on l'a mentionné précédemment, le spectre s'écrit :

$$35 \quad S = \frac{2 \alpha D}{(\alpha D)^2 + W^2} \quad (1)$$

Le spectre normalisé à 1 pour  $W = 0$  s'écrit donc :

$$S_o = \frac{1}{1 + \left(\frac{W}{\omega D}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi f}{K^2 D}\right)^2} \quad (2)$$

5 avec  $K = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$   
 La largeur à mi-hauteur  $\delta f_L$  est donc donnée par:

$$\delta f_L = \frac{DK^2}{\pi} = 16\pi \frac{\sin^2 \theta/2}{\lambda^2} \cdot \frac{kT}{3\pi \mu d}$$

10 Dans l'exemple choisi, le montage est tel que  
 $f_L = 0,5 \text{ m}$   
 $d_L = 4 \text{ cm}$  ;

d'où:

$$\sin(\theta/2) = \frac{d_L/2}{\sqrt{f_L^2 + (d_L/2)^2}} = 0,03997 \sim 0,04 .$$

15 Pour un laser à argon ionisé travaillant sur la raie verte ( $\lambda = 5145 \text{ Å}$ ) on trouve:

20 d'où  $D = \frac{kT}{3\pi \mu d} = 2,2 \cdot 10^{-9} \text{ SI};$   
 $\delta f_L = 670 \text{ Hz}.$

On notera que si  $d = 160 \text{ Å}$  ou  $240 \text{ Å}$ , on a respectivement  $\delta f_L = 830$  et  $560 \text{ Hz}.$

A remarquer encore que  $S_o$  peut aussi s'écrire:

25 
$$S_o = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{\delta f_L}\right)^2}$$

30 On a tracé sur la figure 3 trois spectres homodynes (a), (b), (c) correspondant respectivement aux trois diamètres envisagés:  $d = 160 \text{ Å}$ ,  $d = 200 \text{ Å}$  et  $d = 240 \text{ Å}$ . Les amplitudes sont portées en ordonnées, en unités normées. Les fréquences  $f$  sont en abscisses.

Le spectre homodyne étant enregistré, l'invention permet d'accéder à toute information qu'il contient, c'est-à-dire le diamètre moyen des particules ainsi qu'éventuellement la répartition des diamètres dans un système polydispersé.

## 2°) Spectre hétérodyne.

On désigne par  $f_{D,\tilde{B}}$  la fréquence Doppler en l'absence de cellule de Bragg. La fréquence Doppler avec cellule de Bragg interposée sur le faisceau  $FL_1$  est alors égale à :

$$f_D = |f_B - f_{D,\tilde{B}}|.$$

L'élargissement gaussien est :

$$\delta f_D = \delta f_{D,\tilde{B}} = \delta \left[ \frac{2 u_z \sin \theta/2}{\lambda} \right] = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\lambda} \delta u_z$$

$$\text{De plus, on a } \delta u_z = \cos \varphi \cdot \delta u$$

D'où :

$$\delta f_D = \frac{2}{\lambda} \cos \varphi \sin(\theta/2) \cdot \delta u = 6220 \cos \varphi.$$

On choisit  $\cos \varphi$  pour rendre  $\delta f_D \sim \delta f_L$ ,

soit  $\cos \varphi = 0,2$  ( $\varphi = 78,5^\circ$ ). On trouve alors :

$$\delta f_D = 1244 \text{ Hz.}$$

$$\text{On a } f_{D,\tilde{B}} = \frac{2 u_z \sin \theta/2}{\lambda} = 15,55 \text{ kHz,}$$

soit  $f_B = 5,55 \text{ kHz}$ , ce qui fournit  $f_D = 10 \text{ kHz}$ .

Le spectre hétérodyne correspondant est tracé en (d) sur la figure 3.

La fréquence critique  $f_c$  a dans ce cas été fixée à  $7 \text{ kHz}$ .

Dans l'exemple ci-dessus, on a d'abord déterminé, par des expériences préliminaires, par exemple, les caractéristiques du fluide à étudier (ici une flamme contenant des particules de suie). En fonction de ces caractéristiques connues, on choisit  $\sin \theta/2$  pour avoir  $\delta f_L$  de l'ordre de grandeur désiré, puis  $\cos \varphi$  pour ramener  $\delta f_D$  à une valeur de l'ordre de  $\delta f_L$ , après quoi on choisit  $f_B$  pour ramener  $f_{D,\tilde{B}}$  à la valeur  $f_D$  désirée.

Les considérations précédentes montrent qu'on peut - et souvent on doit - adapter les paramètres du montage optique et électronique aux caractéristiques des particules à mesurer.

On notera cependant que la présence d'une cellule de Bragg permettant un réglage continu de fréquences n'est nullement obligatoire.

Les cellules de Bragg commerciales fournissent des décalages ayant certaines valeurs pré-réglées. Il peut être alors possible de choisir  $\cos \varphi$  pour optimiser  $u_z = (\cos \varphi)u$ , donc pour donner à  $f_{D,B}$  une valeur proche d'une fréquence  $f_B$  fournie par la cellule de Bragg. Mais on n'a plus alors la possibilité d'optimisation séparée de  $\delta f_D$ .

Selon une variante avantageuse, l'invention propose, en vue d'optimiser séparément les spectres hétérodyne et homodyne, des moyens pour permettre de produire un angle  $\theta$  entre les faisceaux focalisés différents pour la construction des deux spectres, lesdits moyens étant mis en action par des moyens de commande sensibles à la fréquence critique  $f_c$ . Dans un mode de réalisation, les moyens agissant sur l'angle  $\theta$  peuvent comprendre des moyens pour changer la lentille  $L_1$  au passage de la fréquence critique  $f_c$ .

On conçoit donc que de nombreuses variantes de montage puissent être prévues sans pour autant sortir du cadre de la présente invention.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé pour la mesure simultanée de vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules submicroniques dans un fluide, procédé dans lequel on produit deux faisceaux parallèles de lumière cohérente à partir d'un même faisceau laser, on focalise lesdits faisceaux dans la zone du fluide à mesurer, et on analyse spectralement la lumière sortant de ladite zone, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on enregistre d'abord par balayage de fréquence un spectre homodyne à partir de la lumière diffusée d'un seul desdits faisceaux parallèles sous un grand angle solide, on définit une fréquence  $f_c$ , dite fréquence critique, supérieure à la fréquence la plus élevée du spectre homodyne enregistré, on utilise ladite fréquence  $f_c$  comme paramètre de commande pour agir sur l'émission de lumière cohérente et pour laisser passer les deux faisceaux parallèles, la lumière diffusée étant alors collectée dans un petit angle solide, on continue le balayage en fréquence pour enregistrer le spectre hétérodyne à partir de la lumière d'un faisceau et de la lumière diffusée de l'autre faisceau, et on traite les données des deux spectres pour déterminer simultanément les valeurs des vitesses, fluctuations de vitesses et diamètres de particules dans la zone considérée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors de l'enregistrement du spectre hétérodyne, centré sur la fréquence Doppler  $f_{D,B}$ , on module l'un des faisceaux à une fréquence  $f_B$  de façon à centrer le spectre enregistré sur la fréquence  $f_0 = f_B - f_{D,B}$ .

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on réduit l'élargissement  $\delta f_D$  du spectre, en particulier en modifiant le montage optique et/ou en changeant les conditions de focalisation au passage de la fréquence critique  $f_c$ .

4. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, comprenant une source laser, un séparateur de faisceau dédoublant le faisceau laser en un premier et second faisceau parallèles entre eux, un filtre neutre, un système permettant de focaliser les deux faisceaux précités dans la zone où se trouve le fluide à analyser, un photomultiplicateur connecté à un analyseur spectral, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens amovibles de coupure ( $d_1$ ) d'un des faisceaux parallèles ( $FL_1$ ), un diaphragme ( $D_2$ )

d'ouverture réglable associé à une lentille convergente ( $L_2$ ), placé sur le trajet de ce faisceau ( $FL_1$ ) après sa focalisation, et des moyens coopérant avec l'analyseur spectral pour commander à une fréquence critique  $f_c$  la mise hors d'action des  
5 moyens de coupure ( $D_1$ ) et la réduction d'ouverture du diaphragme ( $D_2$ ), le montage optique étant tel que le photomultiplicateur est disposé à poste fixe dans le prolongement du faisceau ( $FL_1$ ), toutes les opérations de mesure étant ainsi réalisées sans changer la position du photomultiplicateur.

10 5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens de coupure ( $D_1$ ) amovibles sont constitués par un cache, un écran opaque, un diaphragme à rideau ou organe équivalent et le diaphragme ( $D_2$ ) est un diaphragme à iris, ou analogue, capable d'être mis en action et hors d'action  
15 par une commande électronique au passage de la fréquence  $f_c$ .

6. Dispositif selon l'une des revendications 4 ou 5, pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour ramener la fréquence Doppler  $f_{D,B}$  sur l'échelle de l'analyseur spectral.

X20 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une cellule de Bragg disposée sur le trajet du premier faisceau laser avant la lentille de focalisation.

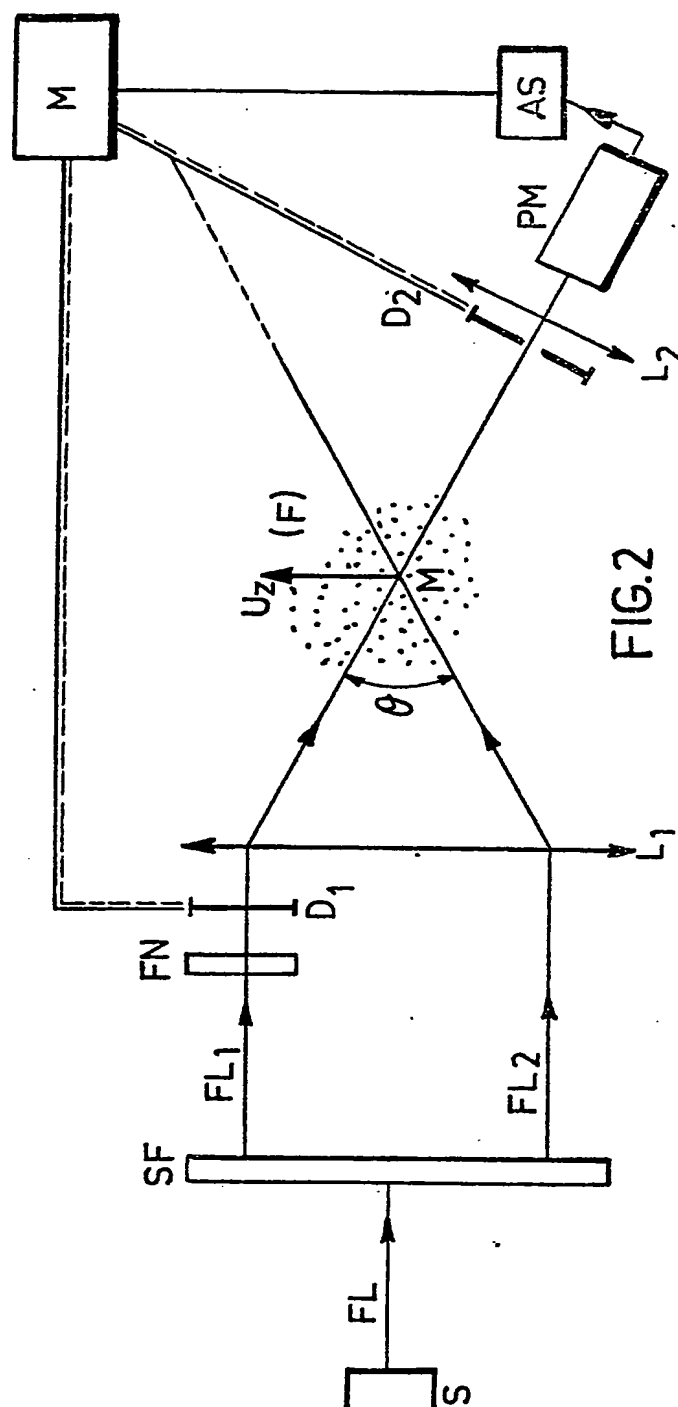
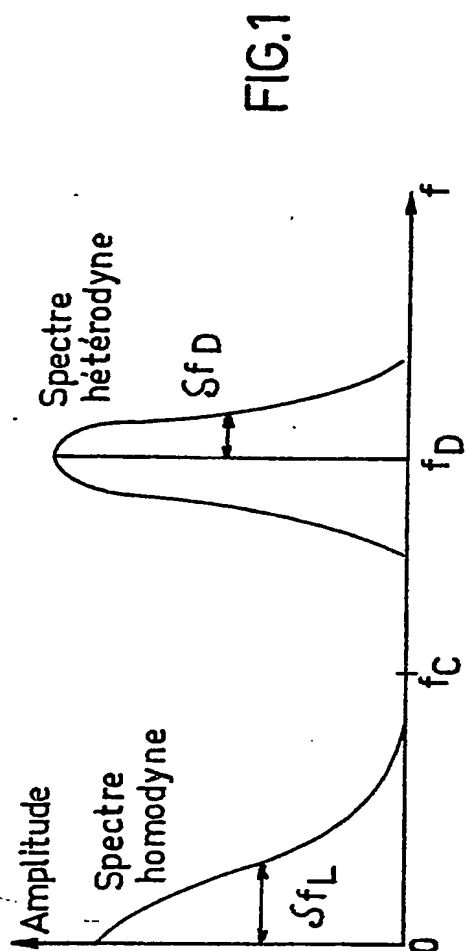
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications  
25 4 à 7 pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend, en vue d'optimiser séparément les spectres hétérodynes et homodynes, des moyens pour permettre de produire un angle  $\theta$  entre les faisceaux focalisés différent pour la construction des deux spectres, lesdits moyens  
30 étant mis en action par des moyens de commande sensibles à la fréquence critique  $f_c$ .

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens agissant sur l'angle  $\theta$  comprennent des moyens pour  
35 changer la lentille ( $L_1$ ) de focalisation au passage de la fréquence critique  $f_c$ .

10. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 et du dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 9 dans des fours à rayonnement,



moteurs à combustion, cheminées d'usine, et en médecine,  
ainsi qu'en calorimétrie, la mesure étant réalisée dans  
ce dernier cas en introduisant dans le milieu des particules  
de taille connue, l'enregistrement du spectre permettant alors  
5 de mesurer la température dudit milieu.



2454102

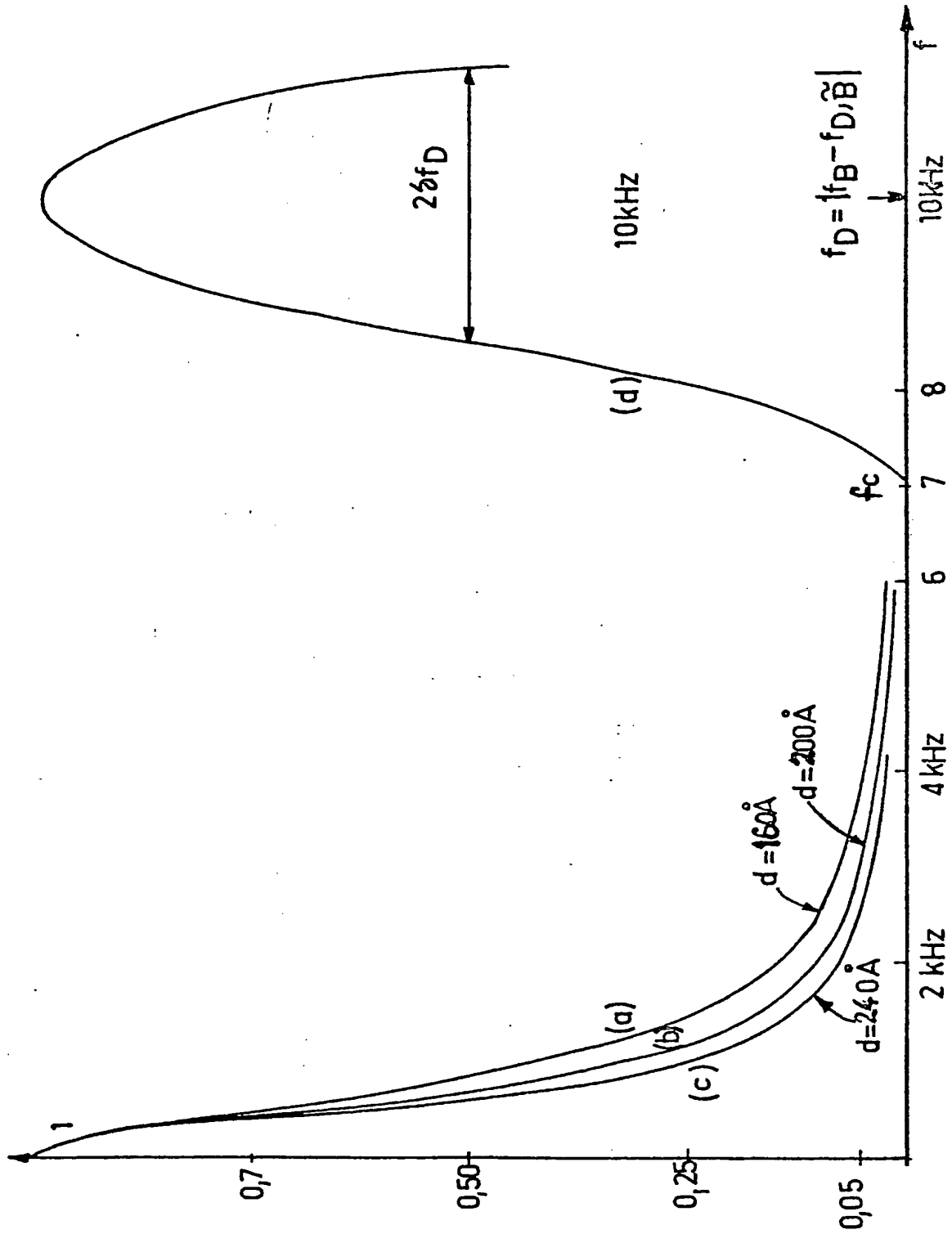


FIG.3

THIS PAGE BLANK (USPTO)